高密种植下 4 个春玉米品种受光态势及光合特性比较研究

李媛媛[1],杨恒山[1],张瑞富[1],邢昌令[2],毕文波[1],李国红[1],王翠花[1]
(1.内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028042;2.通辽市农业技术推广站,内蒙古 通辽 028042)

摘 要:在高密(9.26 万株·hm^{-2})种植条件下,研究了 4 个春玉米品种(内单 314、宁玉 309、金山 116、金山 20)的受光态势及光合特性。结果表明:单株叶面积以内单 314 最大,且棒三叶及以上层位叶片的分布比例在 4 个春玉米品种中均最高;4 个春玉米品种不同层位叶向值总体表现为棒三叶上 > 棒三叶下 > 棒三叶,其中棒三叶上以及棒三叶均以内单 314 最大,以宁玉 309 最小,棒三叶下以金山 20 最大,金山 116 次之,内单 314 最小;不同生育时期光合势以吐丝至乳熟期最大,品种间表现为内单 314 > 宁玉 309 > 金山 116 > 金山 20;净光合速率除 08:00 以外,其它各时段均以内单 314 最高;平均瞬时光能利用率以内单 314 最大,宁玉 309 次之,金山 20 最小;在 4 个春玉米品种中,内单 314 受光态势好,光合能力强,产量最高,是试验所在地西辽河平原高密栽培的首选品种。

关键词:高密种植;春玉米;受光态势;光合特性;产量
中图分类号:S311 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-7601(2013)05-0069-05

Comparison research on light penetration and photosynthesis traits of four spring maize varieties under planting high-density

LI Yuan-yuan[1], YANG Heng-shan[1], ZHANG Rui-fu[1], XING Chang-ling[2],
BI Wen-bo[1], LI Guo-hong[1], WANG Cui-hua[1]
(1. *College of Agronomy, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia* 028042, *China*;
2. *Agricultural Techniques Extension station of Tongliao City, Tongliao, Inner Mongolia* 028042, *China*)

Abstract: Light penetration and photosynthesis characteristics of four spring maize (neidan314、ningyu309、jinshan116、jinshan20) were studied under planting high-density (9.26×10^4 plants·hm^{-2}). The results showed that the leaf area per plant of neidan314 was largest, and distribution proportion of three-ear leaves and above layer of neidan314 were highest. Leaf orientation value in different layers of the four varieties of spring maize were above three-ear leaves > under three-ear leaves > three-ear leaves, which above three-ear leaves and three-ear leaves were maximum in neidan314, and which were minimum in Ningyu309, but under three-ear leaves was largest in jinshan27, next to jinshan116 and which was minimum at neidan314. Leaf area duration in different growth stages were the largest from silking to milking stage, and varieties showed neidan314 > ningyu309 > Jinshan116 > Jinshan20; Except 08:00, the photosynthesis were maximum in neidan314. Average instantaneous solar energy utilization efficiency in turn was neidan314 > ningyu309 > Jinshan20. In four spring maize varieties, neidan314 had better light penetration, stronger photosynthetic capacity and the highest yield, which was the first species of high-density cultivation in the research area.

Keywords: high density planting; spring maize; light penetration; photosynthesis traits; yield

玉米喜温光,是高光效的 C_4 作物,其种植面积和产量约占中国粮食作物的五分之一[1]。合理密植是提高玉米产量的主要途径[2-3]。但群体密度的增加势必造成个体竞争的加剧,给群体受光态势造成

收稿日期:2013-01-16
基金项目:国家科技支撑计划(2011BAD16B13);内蒙古民族大学科研创新团队基金(NMD1003);内蒙古民族大学校内项目(NMD1166、NMD1111)
作者简介:李媛媛(1982—),女,河北唐山人,讲师,硕士,主要从事作物高产栽培方面的研究。E-mail:59556679@qq.com。
通信作者:杨恒山(1967—),男,内蒙古兴和人,教授,博士,主要从事作物高产栽培研究。E-mail:yanghengshan2003@yahoo.com.cn。

影响,从而影响玉米的光合性能及产量。群体结构受作物自身遗传特性与生理生化过程的影响,同时也受种植方式和环境状况的制约[4]。玉米群体作为一个完整的光合作用、物质生产体系,其结构特点对功能的发挥至关重要。相关专家学者以高产栽培为目标,从栽培品种[5-8]、种植密度[9-10]、肥水调控[10-11]等多角度对高产玉米群体冠层结构特点进行了研究,并取得了一批有价值的成果,但研究多集中在群体结构或群体内光分布等相关内容上,且研究材料以夏玉米为多,因此,研究高密种植条件下不同春玉米品种的受光态势及光合特性,对于揭示不同区域高产玉米群体结构特点与功能的关系显得尤为重要。本研究以4个春玉米品种为试材,研究了在高密种植条件下4个春玉米品种的受光态势及光合特性,以为研究地区玉米的高产栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

西辽河平原地处世界玉米生产的黄金带,土壤肥沃,井灌条件良好,具有实现玉米大面积超高产的潜力和优势。玉米种植面积稳定在 6.0×10^5 hm^2 左右,平均单产 7.50 $t\cdot hm^{-2}$,较全国平均单产 5.25 $t\cdot hm^{-2}$高40%以上,总产约占内蒙古自治区玉米总产的30%。

试验于2010年在位于西辽河平原的金山农业科技园区进行,试验地区为温带大陆性季风气候,年均气温 6.8℃,降水量 399.1 mm,无霜冻期 150 d,≥10℃活动积温 3 200 ℃。试验地土壤为灰色草甸土,为当地主要土壤类型。0~20 cm 土层土壤有机质含量为 32.60 $g\cdot kg^{-1}$、全氮为 1.47 $g\cdot kg^{-1}$、碱解氮为 115.50 $mg\cdot kg^{-1}$、速效磷为 83.39 $mg\cdot kg^{-1}$、速效钾为 65.00 $mg\cdot kg^{-1}$。

1.2 试验年度气象条件

表1 试验年度生长季内气象条件

Table 1 Climate conditions of growing season in the trail year

气象要素 Meteorological elements	年份 Year	月 Month					总/平均 Total/average
		5	6	7	8	9	
日照时数 Sunshine duration/h	2010	199.3	265.2	171.3	234.2	235.1	1105.1
平均气温 Mean temperature/℃	2010	16.60	24.47	24.57	23.10	18.07	21.36
降雨量 Amount of precipitation/mm	2010	78.3	17.9	92.0	26.6	4.6	219.4

注:资料来源:通辽市气象局。Note: Souce of data:Tongliao meteorological office.

1.3 试验设计

供试春玉米品种为内单314、宁玉309、金山116和金山20,4个品种随机排列,3次重复,小区面积均为 120 m^2。种植密度均为 9.26 万株·hm^{-2}(大小垄种植,大垄行距 80 cm,小垄行距 40 cm,株距均为 18 cm);基施牛粪肥 120.0 $t\cdot hm^{-2}$,于秋季旋耕前均匀撒施;种肥为磷酸二铵 225.0 $kg\cdot hm^{-2}$、硫酸钾 495.0 $kg\cdot hm^{-2}$,施于种子下方 3 cm 土层处;在拔节期、大喇叭口期和散粉期分别追施尿素 243.0 $kg\cdot hm^{-2}$、487.5 $kg\cdot hm^{-2}$和 112.5 $kg\cdot hm^{-2}$;全生育期灌水5次。4个品种的播种期均为4月30日,收获期均为9月30日。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 叶面积指数(*LAI*)及光合势(*LAD*)测定

吐丝期测定单株叶面积,每品种3株,3次重复,单叶叶面积=长×宽×0.75;群体光合势 LAD ($m^2\cdot d\cdot m^{-2}$) = $[(L_1+L_2)/2]\times(t_2-t_1)$,式中 L_1、L_2 分别为 t_1、t_2 时间时的叶面积。

1.4.2 叶向值(*LOV*)测定

吐丝期将叶片分为3层,棒三叶为中层,其上为上层,其下4片叶为下层。根据公式计算叶向值,每处理5株,3次重复。计算公式为:

$$LOV = \sum_{i=1}^{n}\theta(L_f/L)/n$$

式中,θ 为叶片和茎秆连接处叶片与水平线的夹角;L_f 为叶基部到叶片最高处的长度;L 为叶片全长;n 为叶片数。

1.4.3 光合速率及光能利用率

分别在玉米吐丝期选择晴朗天气,用 LI-6400 便携式植物光合测定系统,每小区选取具有代表性植株,测定穗位叶 08:00~16:00 的光合速率(Pn),每次测10株,取平均值,单位 $\mu molCO_2\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$;叶片瞬时光能利用率 $SUE = Pn/PAR$,式中,Pn 为净光合速率,PAR 为叶室内光合有效辐射。

1.4.4 产量及产量构成因素

各小区测产面积为 20 m^2,人工脱粒后测鲜粒重

和含水率,并折算成含水量为 14% 的产量。同时,查各测产区内有效穗数,并分别取 10 穗考种,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、穗粒数,折算 14% 含水量下的千粒重。

2　结果与分析

2.1　4 个春玉米品种产量比较

由表 2 可见,高密种植下 4 个春玉米品种产量表现为内单 314 > 宁玉 309 > 金山 116 > 金山 20,其中内单 314、宁玉 309、金山 116 3 个品种产量均达到了超高产水平(15.0 $t\cdot hm^{-2}$),产量最高的内单 314 达到了 16.14 $t\cdot hm^{-2}$,分别较宁玉 309、金山 116 和金山 20 高出 4.47%、7.60% 和 29.85%。从产量构成来看,千粒重和穗粒数均以内单 314 最大,与宁玉 309 和金山 116 之间的差异不显著,但三者与金山 20 之间的差异均达到极显著水平。

2.2　4 个春玉米品种不同层位叶面积及分布比例比较

叶面积的大小直接影响作物对光能的截获,近而影响群体光合生产。由表 3 可见,4 个春玉米品种吐丝期单株叶面积以内单 314 最大,宁玉 309 次之,金山 116 最小。从单株不同层位叶面积及分布比例来看,棒三叶上以及棒三叶的叶面积均以内单 314 最大;受单株叶面积的影响,棒三叶叶面积分布比例以金山 116 最大,内单 314 次之,二者仅差 0.28%;棒三叶下叶面积内单 314 高于金山 116,低于金山 20 和宁玉 309,叶面积的分布比例在 4 个品种中最低。玉米花后,棒三叶及以上叶片是光能截获的主要器官,内单 314 具有较大的单株叶面积,且主要分布于棒三叶及以上层位,更有利于光能的截获。

表 2　4 个春玉米品种产量及其构成因素

Table 2　4 varieties of maize yield and its component factors

品种 Varieties	有效穗数 Effective spike (10^4 plant·hm^{-2})	穗粒数/粒 Grain number per spike(grain)	千粒重/g 1000-kernel weight	实测产量 Actual grain yield /($t\cdot hm^{-1}$)
金山 20 Jinshan20	8.815aA	548.32bB	273.80bB	12.43bB
金山 116 Jinshan116	8.730aA	632.99aA	309.40aA	15.00aA
内单 314 Neidan314	8.757aA	644.31aA	330.10aA	16.14aA
宁玉 309 Ningyu309	8.704aA	617.06aA	323.40aA	15.45aA

注:数据后不同大、小写字母分别表示差异达 0.01、0.05 显著水平。

Note: the different capital letters and small letters respectively show significantly different at the 0.05 and 0.01 probability levels.

表 3　4 个春玉米品种吐丝期单株不同层位叶面积及其分布

Table 3　4 varieties of maize in different growing period changes of leaf area index

品种 Varieties	棒三叶上 Above three-ear leaves		棒三叶 Three-ear leaves		棒三叶下 Under three-ear leaves		单株叶面积 Leaf area index /m^2
	叶面积/m^2 Leaf area	比例/% Proportion	叶面积/m^2 Leaf area	比例/% Proportion	叶面积/m^2 Leaf area	比例/% Proportion	
金山 20 Jinshan20	0.159	21.55	0.195	26.54	0.382	51.91	0.737
金山 116 Jinshan116	0.191	28.73	0.190	28.57	0.284	42.70	0.665
内单 314 Neidan314	0.245	31.79	0.218	28.29	0.308	39.92	0.771
宁玉 309 Ningyu309	0.220	29.44	0.193	25.83	0.335	44.73	0.748
平均 Average	0.204	27.88	0.199	27.31	0.327	44.82	0.730

2.3　4 个春玉米品种不同层位叶向值比较

叶向值既取决于品种的遗传因素,又受密度等栽培条件的影响,其值越大,表明叶片上冲性越强,值越小则表示叶片越趋于平展,下垂程度越大,是决定群体受光姿态、影响群体透光性能的重要指标[2]。4 个春玉米品种不同层位叶向值总体表现为棒三叶上 > 棒三叶下 > 棒三叶;同一层位不同品种间表现为,棒三叶上以及棒三叶均以内单 314 最大,以宁玉 309 最小,棒三叶下以金山 20 最大,金山 116 次之,内单 314 最小。上部叶片叶向值较大,叶片上冲,群体透光性能强,有利于提高中部叶片光能的截获量和群体的分层受光,下部叶片叶向值小,叶片平展,有利于弥补中上部叶片的漏光损失。内单 314 棒三叶上叶向值为 70.03,在供试的 4 个品种中最大,棒三叶为 50.49,虽也最大,但二者的差值达到了 19.54,在 4 个供试品种中仍为最大,说明高密种植条件下,内单 314 上部叶片上冲性好,中下部叶片相对平展,有利于提高光能的截获量和群体的分层受

光,受光态势好。

表4 4个春玉米品种吐丝期不同层位叶向值

Table 4 4 varieties of maize in different layers of leaf orientation value silking stage

品种 Varieties	棒三叶上 Above three-ear leaves	棒三叶 Three-ear leaves	棒三叶下 Under three-ear leaves
金山20 Jinshan20	67.88±0.94	50.31±0.89	54.86±5.52
金山116 Jinshan116	64.81±1.69	46.46±1.55	54.04±4.48
内单314 Neidan314	70.03±1.24	50.49±0.87	52.18±4.94
宁玉309 Ningyu309	63.56±2.41	45.00±1.70	53.07±5.68
平均 Average	66.57	48.07	53.54

2.4 4个春玉米品种光合势比较

在一定范围内光合势越大,光合作用时间越长,植株体内积累的光合产物就越多。由表5可见,4个春玉米品种的光合势以吐丝至乳熟期最大,品种间表现为内单314>宁玉309>金山116>金山20;乳熟到成熟期次之,品种间以内单314最大,宁玉309次之,金山116最小,其中前者分别较后两者高29.58%和50.01%;拔节到吐丝期各玉米品种的光合势最小,其中以金山116最大,内单314次之,金山20最小。光合势是反映玉米群体叶片光合能力的主要因素,供试的4个春品种玉米,总光合势以内单314最大,且与其他3个品种差距明显,说明内单314光合作用时间长,光和能力较强。

2.5 4个春玉米品种瞬时光能利用率比较

瞬时光能利用率是反映叶片光合性能的重要指标,棒三叶的光合性能除了与叶长、叶厚及叶绿素含量等叶片本身特性有关系外,也和群体透光性能有关系。由表6可见,4个春玉米品种的瞬时光能利用率总体呈现先升高再降低的趋势,峰值均出现在14:00时左右。平均瞬时光能利用率品种间以内单314最大,宁玉309次之,金山20最小,其中前者分别比后两者高0.285%和0.745%。

表5 4个春玉米品种光合势的变化($m^2 \cdot d \cdot m^{-2}$)

Table 5 4 varieties of Maize Photosynthetic potential change

品种 Varieties	拔节-吐丝 Jionting-silking stage	吐丝-乳熟 Silking-milk stage	乳熟-成熟 Milk-mturity stage	总光合势 Total photosynthetic potential
金山20 Jinshan20	70.18	170.55	109.08	349.81
金山116 Jinshan116	74.66	196.40	106.17	377.23
内单314 Neidan314	74.02	205.63	159.27	438.92
宁玉309 Ningyu309	70.70	204.40	122.91	398.01

2.6 4个春玉米品种净光合速率比较

由图1可见,4个春玉米品种净光合速率均呈现先升高再降低的趋势,其中峰值均出现在12:00,品种间表现为内单314>宁玉309>金山20>金山116。除08:00外,4个春玉米品种的净光合速率其他各时段均以内单314最高。说明内单314群体内光分布较为合理,透光率高,叶片的净光合速率较大,利于光合产物的积累。

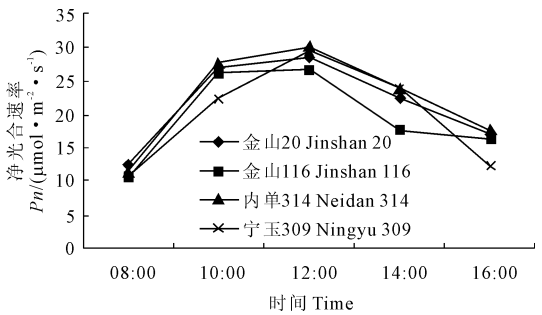

图1 4个春玉米品种的吐丝期净光合速率日变化

Fig.1 4 varieties of maize silking stage of diurnal variation of net photosynthetic rate

表6 4个春玉米品种吐丝期和乳熟期的瞬时光能利用率日变化/%

Table 6 4 varieties of Maize silking stage of diurnal variation of instantaneous light energy utilization rate

品种 Varieties	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	平均 Average
金山20 Jinshan20	1.795	1.818	1.852	2.215	2.069	1.950
金山116 Jinshan116	1.954	2.004	2.250	2.849	2.531	2.317
内单314 Neidan314	2.475	2.543	2.761	2.919	2.778	2.695
宁玉309 Ningyu309	2.016	2.176	2.578	2.784	2.634	2.437

3 结 论

光在玉米群体中的分布状况主要由冠层结构决定,在冠层结构中叶片起最主要的作用,与光分布及其对光能的利用有着密切的关系[12]。4个春玉米品种吐丝期单株叶面积以内单314最大,宁玉309次之,金山116最小,单株不同层位叶面积及分布比例棒三叶上以及棒三叶的叶面积均以内单314最大;

从不同层位叶向值来看,4 个春玉米品种总体表现为棒三叶上 > 棒三叶下 > 棒三叶,其中内单 314 棒三叶上以及棒三叶分别达到 70.03 和 50.49,在供试的 4 个春玉米品种均最大,其差值为 19.54,也明显高于其他品种,高密种植条件下,内单 314 保持较大的叶面积,上部叶片上冲性好,下部叶片相对平展,有利于提高光能的截获量和群体的分层受光,受光态势好。

4 个春玉米品种的光合势均表现为吐丝至乳熟期最大,拔节到吐丝期最小;其中内单 314 吐丝至乳熟期、乳熟到成熟期均最大,拔节到吐丝期仅次于金山 116,总体表现最好。从各玉米品种的净光合速率来看,除 08:00 外,其他各时段均以内单 314 最高。平均瞬时光能利用率内单 314 也明显高于其他品种。

从产量表现来看,4 个春玉米品种以内单 314 最高达到了 16.14 $t\cdot hm^{-2}$,分别较宁玉 309、金山 116 和金山 20 高出 4.47%、7.60% 和 29.85%。较好的受光态势、较强的光合能力是内单 314 产量高于其他品种的原因所在。

4　讨　论

增加种植密度是进一步提高玉米单产水平的有效途径[13]。密度的增加势必给群体结构带来影响[3]。合理的群体结构,也就决定了合理的光分布,从而使玉米光能利用率达到最高,光合作用水平达到最佳状态[12]。李登海认为,紧凑型玉米在适当高的密度下,穗位上叶夹角较小(10° ~ 15°)、叶面积指数较高(最大 LAI 为 5.5 ~ 6.0,成熟期仍达到 3.5 左右)、光合势较长,是产量在 13.5 ~ 15.0 $t\cdot hm^{-2}$ 夏玉米的育种目标[4]。吕丽华等研究了不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性后指出,在适当高的密度下(小株小穗型品种为 9.75 ~ 11.25 万株·hm^{-2},中株中穗型品种为 8.25 ~ 9.75 万株·hm^{-2},大株大穗型品种为 6.75 ~ 8.25 万株·hm^{-2}),穗位层透光率较高,叶面积指数发展动态合理(前快、中稳、后衰慢,吐丝期达到 5.59 ~ 6.75,成熟期仍然保持在 2.24 ~ 3.68),中上层叶片净光合速率较高(33.6 ~ 43.8 $\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$),群体光合势高值持续时间较长(小株小穗型品种吐丝后光合势达到 172.0 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$,中株中穗型和大株大穗型品种达到 232.8 ~ 235.9 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$),是高效冠层的特征[9]。本试验结果表明,在密度 9.26 万株·hm^{-2} 种植条件下,内单 314 产量达到 16.14 $t\cdot hm^{-2}$,其叶面积指数达 6.927,穗位叶日最大净光合速率 30.5 $\mu mol\cdot m^{-2}\cdot s^{-1}$,吐丝后光合势达 364.90 $m^2\cdot d\cdot m^{-2}$。高产目标的实现与其合理的冠层结构和受光态势,较强的光和能力具有直接关系,此结论与李登海、吕丽华等的研究结论基本一致,数值上的差异主要是试验采用的品种及试验地区环境条件不同所致。另外本研究采用的是高密度、宽窄行的种植方式,宽窄行种植在一定程度上改善了群体的通风和透光条件,这也是宁玉 309、金山 116 两个玉米品种取得较高产量的主要原因。

参 考 文 献:

[1] 顾晓鹤,韩立建,王纪华,等.中低分辨率小波融合的玉米种植面积遥感估算[J].农业工程学报,2012,28(3):203-209.

[2] 陈得义,葛　超,赵成昊,等.不同品种春玉米光合生理特性密度效应研究[J].农业科技通讯,2012,(1):35-38.

[3] 张玉芹,杨恒山,毕文波,等.不同栽培模式下春玉米生育后期冠层生理特性研究[J].华北农学报,2012,27(1):145-150.

[4] 章家恩.作物群体结构的生态环境效应及其优化探讨[J].生态科学,2000,19(1):31-35.

[5] 薛吉全,梁宗锁,马国胜,等.玉米不同株型耐密性的群体生理指标研究[J].应用生态学报,2002,13(1):55-59.

[6] 李登海,毛丽华,姜伟娟,等.紧凑型杂交玉米高产性能的发现与探索[J].莱阳农学院学报,2001,18(4): 259-262.

[7] 鲍巨松,薛吉全,杨成书,等.不同株型玉米叶面积系数和群体受光态势与产量的关系[J].玉米科学,1993,3(1):50-54.

[8] 丁希武,许晓明,郑玉龙,等.不同生态类型玉米光分布规律的研究[J].黑龙江农业科学,1998,(1):5-9.

[9] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447-455.

[10] 李　明,李文雄.肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J].中国农业科学,2004,37(8):1130-1137.

[11] 吕丽华,赵　明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.

[12] 郭　江,肖　凯,郭新宇.玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J].玉米科学,2005,13(2):55-59.

[13] 李登海.从事紧凑型玉米育种的回顾与展望[J].作物杂志,2000,(5):1-5.

(上接第 53 页)

[28] 汪　军,王德建,张　刚,等.连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J].水土保持学报,2010,(5):40-62.

[29] 徐新宇,张玉梅,向　华.应用^{15}N 示踪研究秸秆对保存和提高氮肥肥效的影响[J].中国核科技报告,1991,(S3):588-598.

[30] 汪　军,王德建,张　刚.秸秆还田下氮肥用量对稻田养分淋洗的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(2):316-321.

[31] 王改玲,郝明德,陈德立.秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N_2O 排放的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(6):840-844.

[32] 介晓磊,杨先明,刘世亮,等.潮土长期定位施肥对小麦生理特性、产量及面粉品种的影响[J].华北农学报,2011,26(3):157-163.